

**Studi Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik
pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan**

SKRIPSI

Oleh:

Cinta Nur Ihya

145090201111030



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



Studi Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia

Oleh:
Cinta Nur Ihya
145090201111030



JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**Studi Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik
pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan**

oleh:
CINTA NUR IHYA
145090201111030

Setelah diseminarkan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 17 Juli 2018
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Kimia

Pembimbing I



Dr.rer.nat. Rachmat Triandi T., S.Si, M.Si
NIP. 19720717 2000031 002


Pembimbing II



Drs. Danar Purwonugroho, M.Si
NIP. 19600610 1992031 002



Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya


Masruri, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 197310202002121001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cinta Nur Ihya
NIM : 145090201111030
Jurusan : Kimia
Penulis skripsi berjudul:

Studi Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam tugas akhir ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 9 Juli 2018

Yang menyatakan,



(Cinta Nur Ihya)

NIM. 145090201111030

Studi Pembuatan dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari cara membuat lapisan serta pola hidrofobik pada kaca preparat menggunakan trimetilklorosilan (TMCS). Pengaruh konsentrasi TMCS serta variasi waktu perendaman terhadap karakteristik lapisan hidrofobik pada kaca preparat telah dikaji. Kaca preparat direndam terlebih dahulu dalam metanol selama 30 menit sebelum digunakan untuk membersihkan permukaan kaca dari pengotor. Larutan TMCS yang digunakan adalah 11%, 22%, 33%, 44%, dan 55% dalam pelarut n-heksan. Metode yang digunakan adalah perendaman kaca preparat dalam campuran larutan TMCS, n-heksana, dan metanol dengan perbandingan volume 1:1:1. Pola hidrofilik dibuat dengan cara merendam kaca yang telah dilapisi hidrofobik dalam H_2SO_4 pekat selama 30 menit. Perendaman dalam TMCS dilakukan pada suhu konstan 50 °C dengan variasi waktu 0,5, 6, dan 12 jam. Karakterisasi lapisan hidrofobik dilakukan dengan menganalisa morfologi, menganalisa gugus fungsi, menguji hidrofobitas, dan menguji ketahanan mekanik. Nilai sudut kontak terendah yang didapatkan adalah pada konsentrasi TMCS 11%, waktu kontak 0,5 jam yaitu sebesar 69,82° dan nilai sudut kontak tertinggi adalah pada konsentrasi TMCS 55%, waktu kontak 12 jam yaitu sebesar 87,07°.

Kata kunci: Kaca Hidrofobik, trimetilklorosilan, sudut kontak

The Study of Hydrophobic Coatings and Characterization on Glass Substrate using Trimethylchlorosilan

ABSTRACT

The aim of this research is to learn how to make hydrophobic layers with patterns on glass substrate using trimethylchlorosilane (TMCS). The effect of TMCS concentrations and the variation of immersion time on the characteristics of the hydrophobic coating on the object glass has been investigated. Glass substrate is treated using methanol, to clean the glass surface. The TMCS solution are 11%, 22%, 33%, 44%, and 55% in n-hexane. First method was soaking glass substrat into a mixture of TMCS, n-hexane, and methanol solutions with a volume ratio of 1: 1: 1. Then a hydrophilic pattern was created by immersion of the glass in concentrated H_2SO_4 for 30 minutes. Immersion of glass substrate in TMCS to gave hydrophobic layer is carried out at a constant temperature of 50 °C with time variation of 0.5, 6, and 12 hours. Characterizations are performed by examining the morfology, analyzing the functional group, testing the hidrophobicity, and testing the mechanical resistance. The lowest contact angle was found at 11% of TMCS concentration and contact time of 0.5 hours at 69.82° and the highest contact angle was found at 55% TMCS concentration and 12 hours contact time at 87.07°.

Keywords: *Hydrophobic Glass, trimethylchlorosilane, contact angle*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah subhanahu wa ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga penelitian dan penulisan tugas akhir, yang berjudul **Studi dan Karakterisasi Lapisan Hidrofobik pada Substrat Kaca menggunakan Trimetilklorosilan** dapat terselesaikan. Penulisan tugas akhir ini bertujuan sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Sains dalam bidang Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

Selama penelitian dan penulisan tugas akhir, penulis mendapatkan banyak bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.rer.nat. Rachmat Triandi T., S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing I, dan Drs. Danar Purwonugroho, M.Si selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, bantuan, dan doa yang telah diberikan kepada penulis.
2. Qonitah Fardiyah, S.Si., M.Si, dan Ulfa Andayani, M.Si selaku dosen Penasehat Akademik atas segala nasehat, pengarahan, dukungan, doa, serta semangat yang diberikan kepada penulis.
3. Darjito, M.Si, selaku dosen peninjau seminar proposal dan kemajuan atas saran dan dukungan yang telah diberikan.
4. Masruri, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia, serta segenap dosen dan karyawan Jurusan Kimia Universitas Brawijaya atas bimbingan dan bantuan yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua penulis, Arif Susilo dan Sutatik, adik Asa dan adik Khildan atas segala semangat, doa, nasihat, saran, dan segala hal yang telah diberikan kepada penulis.
6. Keluarga dekat penulis, Esti, Lita, Osi, Hera dan keluarga besar yang telah mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
7. Seluruh teman-teman Kimia angkatan 2014, khususnya teman-teman bidang Anorganik Ayu, Nabila, Vivi. Nadia, Andi, dan Tomi atas segala saran, dukungan, nasihat, dan segalanya yang telah diberikan kepada penulis.
8. Sahabat-sahabat dekat penulis, Innurvi, Latifah, Ratna, Dwi Afifah, Nelly, Dika, Intan, Citra, Oktiv, Inca, Feliya, Devi, Dilla atas segala doa dan bantuan yang diberikan kepada penulis.

9. Anggota Ikahimki UB dan Ikahimki Nasional atas segala doa, semangat, dan bantuan lainnya yang diberikan kepada penulis.
10. Teman kos putri Vinolia yang selalu menghibur dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Seluruh pihak dan instansi yang membantu terselesaikannya penelitian dan skripsi ini.

Penulis mengharapkan masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun untuk lebih melengkapi penulisan skripsi ini, karena penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis juga berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan menambah wawasan bagi pembacanya.

Malang, 9 Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PERNYATAAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 2 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Kaca | 3 |
| 2.2 Kaca Soda-kapur | 4 |
| 2.3 Hidrofobisitas | 5 |
| 2.4 Modifikasi Permukaan Kaca | 6 |
| 2.5 Pengukuran Sudut Kontak | 7 |
| 2.6 Analisis dengan Instrumen <i>Scanning Elektron Microscopy</i> | 7 |
| 2.7 Analisis dengan Instrumen <i>Fourier Transform Infra Red</i> | 8 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 11 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 11 |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian | 11 |

| | |
|--|----|
| 3.3 Tahapan Penelitian | 11 |
| 3.4 Prosedur Kerja | 11 |
| 3.4.1 Preparasi Substrat Kaca | 11 |
| 3.4.2 Preparasi larutan TMCS | 11 |
| 3.4.3 Pelapisan Hidrofobik pada Kaca | 12 |
| 3.4.4 Pembuatan Pola | 12 |
| 3.4.5 Uji Ketahanan | 12 |
| 3.4.6 Karakterisasi | 12 |
| 3.4 Diagram Alir Penelitian | 13 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 15 |
| 4.1 Pembuatan Pola Lapisan Hidrofobik | 15 |
| 4.2 Pengukuran Sudut Kontak | 17 |
| 4.3 Uji Ketahanan | 21 |
| 4.3.1 Uji Ketahanan Mekanik | 21 |
| 4.3.2 Uji Ketahanan Panas | 21 |
| 4.4 Karakterisasi Menggunakan FTIR | 22 |
| 4.5 Karakterisasi Lapisan Hidrofobik Menggunakan SEM | 23 |
| BAB V PENUTUP | 27 |
| 5.1 Kesimpulan | 27 |
| 5.2 Saran | 27 |
| DAFTAR PUSTAKA | 28 |
| LAMPIRAN | 31 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Beberapa Jenis Kaca dan Penggunaannya | 4 |
| Tabel 2.2 | Karakteristik Absorpsi IR Beberapa Gugus Fungsi | 9 |
| Tabel 4.1 | Keterangan Kode Sampel | 15 |
| Tabel 4.2 | Interpretasi Jenis Vibrasi Hasil FTIR | 23 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Skema representasi struktur gelas natrium silikat | 3 |
| Gambar 2.2 | Kaca preparat | 4 |
| Gambar 2.3 | Ilustrasi permukaan hidrofobik dan hidrofilik | 5 |
| Gambar 2.4 | Struktur dan Simbol Bahaya TMCS | 6 |
| Gambar 2.5 | Ilustrasi pengukuran berbagai sudut kontak air | 7 |
| Gambar 2.6 | Hasil pengamatan FE-SEM permukaan kaca lapisan superhidrofobik | 7 |
| Gambar 4.1 | Kaca dengan grafit sebagai pola sebelum direaksikan | 15 |
| Gambar 4.2 | Pola hidrofobik dan hidrofilik yang terbentuk pada sampel 2a1 | 16 |
| Gambar 4.3 | Tetesan air pada kaca hidrofobik (A), tetesan air pada kaca hidrofilik (B) yang terbentuk pada sampel 2b2 | 17 |
| Gambar 4.4 | Kurva hubungan sudut kontak dengan konsentrasi larutan TMCS pada variasi waktu kontak | 18 |
| Gambar 4.5 | Kurva perubahan nilai sudut kontak pada berbagai waktu kontak dari variasi konsentrasi larutan TMCS | 19 |
| Gambar 4.6 | Hasil sudut kontak pada kaca yang telah dibuat hidrofilik | 20 |
| Gambar 4.7 | Perbandingan tetesan air pada permukaan kaca sebelum dan sesudah sonikasi | 21 |
| Gambar 4.8 | Hasil uji ketahanan panas kaca hidrofobik 1a1 | 21 |
| Gambar 4.9 | Perbandingan spektra IR beberapa sampel | 22 |
| Gambar 4.10 | Hasil pengamatan SEM permukaan kaca pada berbagai perbesaran | 25 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|------------|----------------------------------|----|
| Lampiran A | Tahapan Penelitian | 31 |
| Lampiran B | Perhitungan Preparasi Larutan | 32 |
| Lampiran C | Data Pengukuran Sudut Kontak | 34 |
| Lampiran D | Hasil Spektrum FTIR | 36 |
| Lampiran E | Dokumentasi Penelitian | 38 |
| Lampiran F | Prosedur Pengukuran Sudut Kontak | 40 |



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kaca merupakan gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap. Kaca dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali, alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya. Komposisi terbesar penyusun kaca adalah silika (SiO_2). Kaca termasuk salah satu produk industri kimia yang penting untuk produksi berbagai peralatan laboratorium, arsitektur, alat dapur, bahan dekorasi dan banyak sekali kegunaan lainnya dalam kehidupan sehari-hari [1]. Kaca termasuk dalam material transparan yang dewasa ini penggunaannya pada berbagai properti semakin meningkat [2].

Penelitian tentang pelapisan pada kaca banyak dikembangkan untuk mengoptimalkan nilai guna dari kaca. Pelapisan pada berbagai kaca dibuat untuk menghasilkan variasi khusus dari sifat optik, listrik, kimia, dan mekaniknya [1]. Salah satu aplikasi pelapisan kaca yang dibutuhkan yaitu membuatnya bersifat *self-cleaning*.

Sifat *self-cleaning* pada suatu permukaan dapat diperoleh melalui proses pelapisan dua mekanisme, yaitu mekanisme permukaan hidrofilik dan hidrofobik. Kaca *self-cleaning* dengan permukaan hidrofilik melibatkan mekanisme fotokatalitik sehingga aktivitasnya memerlukan aktivasi menggunakan paparan sinar matahari atau sinar UV-A untuk mendegradasi kotoran. Sedangkan kaca dengan permukaan hidrofobik mempunyai mekanisme *self-cleaning* yang lebih sederhana. Pada permukaan hidrofobik, tetesan-tetesan air akan membentuk bulatan-bulatan sempurna. Fenomena tersebut menyebabkan tetesan air dapat meluncur pada permukaan kaca sambil membawa kotoran-kotoran yang melekat pada permukaan kaca [3].

Kaca yang pada umumnya beredar di masyarakat memiliki tingkat hidrofobisitas rendah, yakni sekitar $30\text{--}40^\circ$ saja. Sedangkan kaca yang bersifat hidrofobik memiliki sudut kontak lebih besar dari 90° [4].

Tingkat hidrofobisitas suatu permukaan disebabkan oleh sifat kimia dan morfologi permukaan tersebut. Kombinasi energi permukaan rendah dan permukaan kasar menentukan sifat hidrofobik yang diperoleh [5]. Meningkatkan hidrofobisitas kaca dapat dilakukan salah satunya dengan memodifikasi permukaan kaca dengan suatu agen pemodifikasi. Modifikasi kimia permukaan film silika telah dilaporkan dapat menggunakan trimetilklorosilan (TMCS) sebagai agen sililasi [6–8]. Beberapa peneliti juga melaporkan penggunaan

nanopartikel SiO_2 dengan TMCS dan heksametildisiloksan (HMDS) sebagai matriks permukaan hidrofobik dan diperoleh kaca yang bersifat hidrofobik dan transparan [9, 10].

Permukaan hidrofobik pada kaca memperluas jangkauan aplikasi potensial ke berbagai bidang optik seperti kaca mobil, panel sel surya, kacamata pengaman, dan perangkat elektronik [11]. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan modifikasi permukaan kaca preparat dengan agen sililasi trimetilklorosilan (TMCS). Tujuannya mengubah permukaan gugus ($-\text{OH}$) dengan ($-\text{CH}_3$).

1.2 Perumusan Masalah

1. TMCS merupakan agen pemodifikasi permukaan kaca, namun belum diketahui konsentrasi larutan dan lama kontak reaksi optimum yang menghasilkan lapisan hidrofobitas tertinggi.
2. Pembuatan lapisan hidrofobik berpola pada kaca menggunakan H_2SO_4 belum diketahui.

1.3 Batasan Masalah

1. Pelarut yang digunakan adalah heksana dan metanol
2. Pencelupan dilakukan dalam suhu tetap 50°C
3. Substrat yang digunakan adalah kaca preparat

1.4 Tujuan Penelitian

1. Membuat lapisan hidrofobik terbaik dengan memvariasikan konsentrasi TMCS dan waktu kontak agar didapatkan hasil yang optimum
2. Membuat lapisan hidrofobik berpola pada permukaan kaca

1.5 Manfaat Penelitian

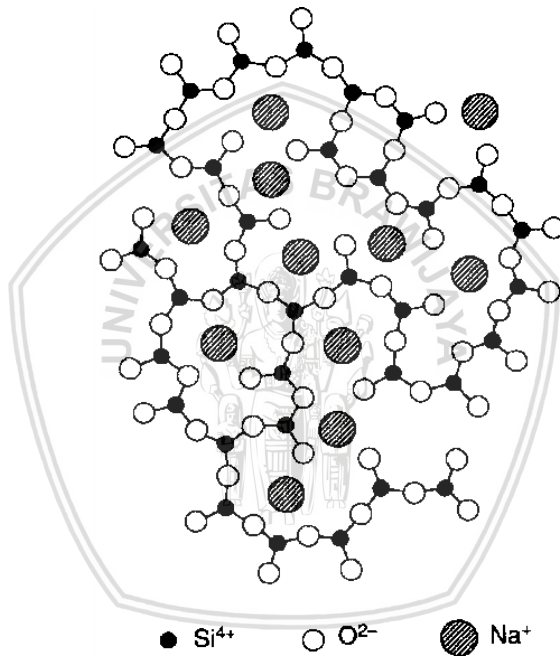
Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan cara membuat kaca hidrofobik dengan bahan seefisien mungkin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kaca

Kaca didefinisikan sebagai produk anorganik dari lelehan yang didinginkan dengan waktu singkat sehingga tidak sampai mengkristal. Kaca merupakan materi dengan susunan atom mirip cairan, namun berbentuk padatan [12]. Struktur kaca dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Skema representasi struktur gelas natrium silikat.

Kaca memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda. Berbagai jenis kaca diproduksi dengan cara yang berbeda. Sebagian besar kandungan kaca adalah SiO_2 . Namun terdapat pula berbagai kaca dengan bahan organik. Perbedaan proses pembuatan kaca berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dan kegunaannya masing-masing [13]. Tabel 2.1 merangkum beberapa penggunaan kaca sesuai dengan jenis kaca yang digunakan.

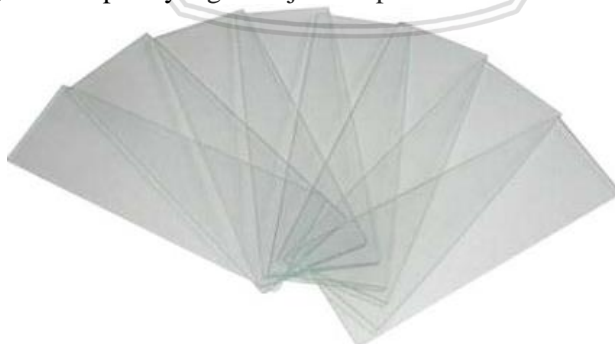
Tabel 2.1: Beberapa jenis kaca dan penggunaannya. Tabel diambil dari [13]

| Jenis | Penggunaan |
|--|--|
| Silika lebur / kaca kuarsa | kuvet pada spectrometer UV-Visible |
| Alkali silikat / kaca larut air (<i>water soluble glass</i>) | sebagai adhesif dalam pembuatan kotak-kotak karton gelombang yang memiliki sifat tahan api |
| Kaca soda kapur (<i>soda-lime glass</i>) | bejana, kaca lembaran, jendela mobil dan barang pecah belah |
| Kaca timbal | bola lampu, lampu reklame neon |
| Kaca borosilikat | isolator tegangan tinggi, lensa teleskop |

2.2 Kaca Soda-kapur

Sebagian besar kaca yang diproduksi industri memiliki komposisi yang sangat mirip dan secara kolektif disebut soda-kapur. Komposisi kaca soda-kapur yang khas dapat dinyatakan sebagai silikon dioksida 71-75% (SiO_2 terutama berasal dari pasir), natrium oksida 12-16% (soda Na_2O dari soda ash Na_2CO_3), kalsium oksida 10-15% “kapur” CaO dari batu kapur CaCO_3 dan rendahnya komponen lainnya yang dirancang untuk memberi sifat spesifik pada kaca. Dalam beberapa komposisi, sebagian kalsium oksida atau natrium oksida diganti dengan magnesium oksida (MgO) dan kalium oksida (K_2O) [14].

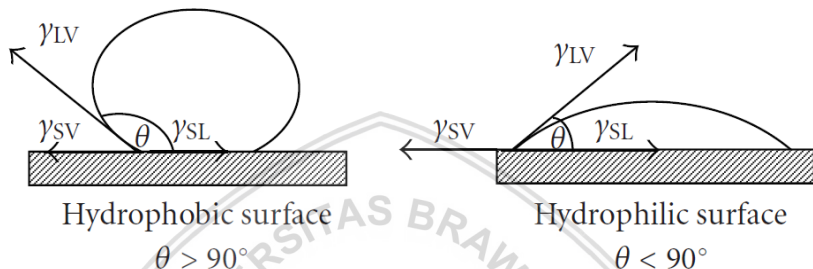
Dalam penelitian ini digunakan kaca soda-kapur dalam bentuk kaca preparat dengan ukuran 25,4 mm x 76,2 mm dan ketebalan kaca 1 mm – 1,2 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Kaca preparat

2.3 Hidrofobisitas

Istilah hidrofobik dan hidrofilik berasal dari kombinasi kata dalam bahasa Yunani "hydro", yang berarti air. Kemudian "phobos" yang berarti "membenci", dan "filial" yang berarti "mencintai". Istilah ini menggambarkan tolakan dan daya tarik antara air dengan suatu permukaan. Hidrofilisitas atau hidrofobisitas suatu permukaan dibedakan berdasarkan nilai sudut kontak air lebih kecil atau lebih besar daripada 90° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3., [10].



Gambar 2.3: Ilustrasi permukaan hidrofobik dan hidrofilik diambil dari [10].

Permukaan hidrofobik memiliki potensi teknologi yang cukup besar untuk berbagai aplikasi karena sifat penolak airnya yang sangat baik. Salah satunya adalah aplikasi *self-cleaning* termasuk jendela pembersih diri, kaca depan mobil, cat eksterior untuk bangunan, genteng, serta tekstil. Permukaan hidrofobik adalah permukaan dimana sudut kontak air antara 90 - 150 derajat [7].

Permukaan superhidrofobik pada kaca dapat ditandai dengan parameter berikut [11]:

- Sudut Kontak: parameter superhidrofobisitas yang paling umum adalah pembentukan tetesan cairan yang hampir bulat di atasnya. Ini diukur dengan mengukur sudut kontak pada antarmuka padat-cair. Pengukuran sudut kontak dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen yang dikenal sebagai goniometer.
- Sudut Geser: fitur lainnya adalah permukaannya harus memiliki sudut geser rendah (kurang dari 10° , diukur dari horisontal) yaitu tetesan air harus turun permukaan dengan sangat mudah, mirip dengan penggulungan bola yang kaku.
- Kemampuan membersihkan diri: pada permukaan ini adhesi antara tetesan air dan partikel debu jauh lebih banyak daripada permukaan dan debu. Oleh karena itu sebagian besar debu diambil oleh tetes air bergulung dan tidak ada residu tertinggal.

d) Tumbukan elastis tetesan cairan: tetesan air dapat memantul kembali. Hal ini juga salah satu alasan mengapa permukaan kaca tetap kering bahkan setelahnya bersentuhan dengan cairan.

Kaca yang memiliki energi permukaan rendah bersifat hidrofobik karena daerah kontak cairan di permukaan berkurang (sudut kontak tinggi) dan interaksi kimia rendah [15].

2.4 Modifikasi Permukaan Kaca

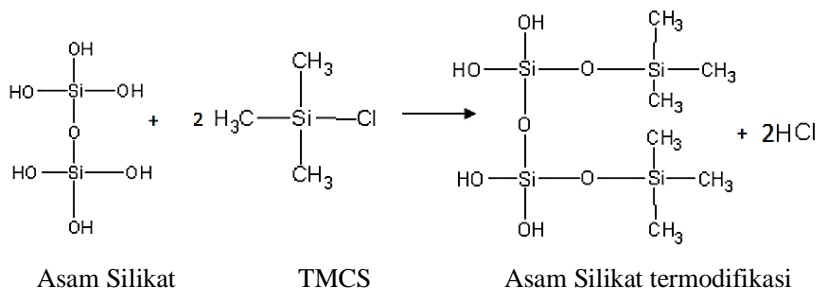
Permukaan hidrofobik memiliki energi permukaan yang rendah. Senyawa-senyawa golongan alkilsilan diketahui memiliki energi permukaan rendah. Sehingga senyawa alkilsilan dapat digunakan untuk melapisi kaca agar bersifat hidrofobik. Beberapa contoh senyawa alkilsilan non-fluoro yang dapat digunakan sebagai agen hidrofobik antara lain metil trimetoksisilan (MTMS), heksametil dizilasan (HMDZ), dimetil klorosilan (DMCS), dimetil diklorosilan (DMDC), trimetil klorosilan (TMCS), trimetil etoksisilan (TMES), dan heksadesil trimetoksisilane (HDTMS) [10].

TMCS merupakan silan fungsional tunggal dengan rumus molekul seperti pada Gambar 2.4 berikut,



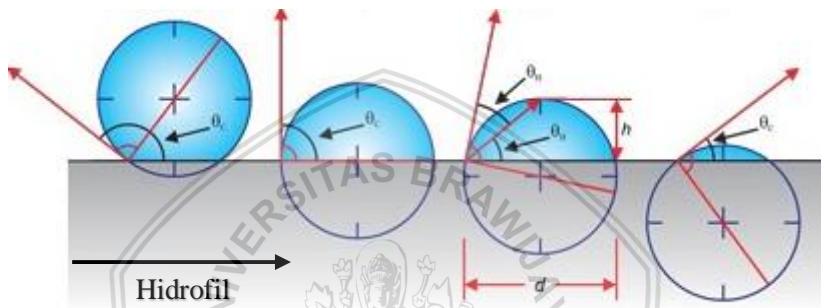
Gambar 2.4: Struktur dasar trimetilklorosilan (Kiri) Simbol bahaya trimetilklorosilan (Kanan).

Dalam penelitian ini menggunakan TMCS sebagai reagen modifikasi permukaan kaca. Reaksi kimia yang terjadi pada modifikasi permukaan kaca adalah sebagai berikut [7]:



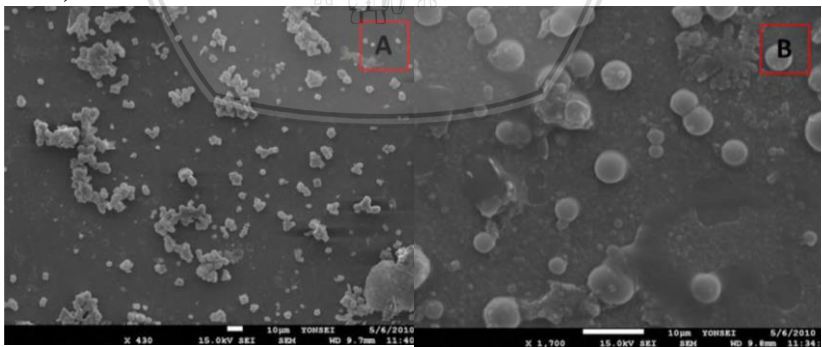
2.5 Pengukuran Sudut Kontak

Sudut kontak adalah pengukuran sudut yang terbentuk di antara permukaan padatan yang bersentuhan dengan cairan dan garis yang bersinggungan dengan jari-jari tetesan (Gambar 2.5). Apabila sudut kontak nol menghasilkan pembasahan (*wetting*), sudut kontak antara 0° hingga 90° menghasilkan penyebaran tetesan (karena daya tarik molekul). Sedangkan sudut kontak yang lebih besar dari 90° menunjukkan cairan cenderung manik atau mengecil jauh dari permukaan padat [16].



Gambar 2.5: Ilustrasi pengukuran berbagai sudut kontak air diambil dari literatur nomor [17].

2.6 Analisis dengan Instrumen *Scanning Elektron Microscopy* (SEM)



Gambar 2.6: Hasil pengamatan FE-SEM permukaan kaca lapisan superhidrofobik terbentuk dari 10% TMCS pada waktu deposisi (a) 5 jam (b) 10 jam. Gambar diambil dari literatur nomor [18].

SEM digunakan untuk memeriksa topografi spesimen pada perbesaran sangat tinggi dengan menggunakan peralatan yang disebut

mikroskop elektron pindai. Perbesaran SEM bisa sampai lebih dari 300.000 kali. Namun, aplikasi manufaktur semikonduktor pada umumnya hanya memerlukan perbesaran kurang dari 3.000 kali saja [19]. SEM sering digunakan dalam analisis retakan atau rekahan, kegagalan ikatan, dan cacat fisik pada benda padat atau kemasan.

Gambar 2.6 menunjukkan morfologi lapisan superhidrofobik kaca yang tidak merata dari substrat pada waktu deposisi masing-masing 5 dan 10 jam. Menurut model Cassie-Baxter udara yang terperangkap dalam partikel-partikel mikro mengurangi luas permukaan antara tetesan cairan dengan permukaan kaca [18].

Cara kerja SEM dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Sinar elektron difokuskan oleh satu atau dua lensa kondensor ke suatu titik. Sinar kemudian melewati sepasang gulungan pemindai (*scanning coil*) di kolom elektron. Ketika sinar elektron primer berinteraksi dengan spesimen, elektron kehilangan energi karena berhamburan acak yang berulang dan penyerapan dari spesimen, dan diperoleh hasil SEM [19].

Salah satu syarat suatu material dapat dianalisis dengan SEM yaitu memiliki permukaan yang bersifat konduktif dan berpori [20]. Sehingga diperlukan pemilihan suatu pelapis yang bersifat konduktif untuk mencapai kinerja optimum SEM. Bahan yang digunakan berbeda untuk tiap sampel bergantung pada hasil yang diinginkan.

2.7 Analisis dengan Instrumen *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektrometri inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik pada daerah panjang gelombang 0.75–1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000–10 cm^{-1} [21]. Beberapa radiasi inframerah diserap oleh sampel dan beberapa diantaranya dilewatkan (ditransmisikan). Spektrum yang dihasilkan mewakili penyerapan dan transmisi molekul, menciptakan sidik jari molekuler sampel. Seperti sidik jari, tidak ada dua struktur molekul unik yang menghasilkan spektrum inframerah yang sama [21].

Prinsip kerja dari FT-IR yaitu adanya interaksi antara energi dari sinar infra merah dengan molekul senyawa uji menyebabkan molekul mengalami vibrasi. Vibrasi molekul tersebut berbeda satu sama lain sesuai pada gugus fungsi dan ikatan senyawa. Sehingga FT-IR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu senyawa,

terutama senyawa organik. Setiap serapan pada panjang gelombang tertentu menggambarkan adanya suatu gugus fungsi spesifik [22].

Tabel 2.2: Karakteristik absorpsi IR beberapa gugus fungsi [18].

| Gugus Fungsi | Absorbansi (cm^{-1}) | Intensitas |
|-------------------|---------------------------------|---------------|
| Alkane | | |
| C-H | 2850-2960 | Medium |
| Alkene | | |
| =C-H | 3020-3100 | Medium |
| Alcohol | | |
| O-H | 3400-3650 | Strong, broad |
| C-O | 1050-1150 | Strong |
| Carbonyl compound | | |
| C=O | 1670-1780 | Strong |
| Aldehyd | 1730 | Strong |
| Ketone | 1715 | Strong |
| Ester | 1735 | Strong |
| Amide | 1690 | Strong |
| Carboxylic acid | 1710 | Strong |
| Carboxylic acid | | |
| O-H | 2500-3100 | Strong, broad |
| Silika | | |
| Si-O-Si | 1093 | Strong, broad |
| Si-C | 846,69 | Medium |
| O-Si-O | 468,67 | Medium |

Tabel 2.2 merupakan daftar bilangan gelombang dan karakter spektra dari beberapa gugus fungsi. Karakterisasi menggunakan FTIR diperlukan untuk mengidentifikasi adanya gugus CH_3 , Si-O, dan Si-C pada permukaan kaca hidrofobik.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik, Kimia Instrumen Jurusan Kimia, dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Brawijaya Malang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2018.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kaca preparat, pemanas, termometer, peralatan gelas, oven, tanur dan kamera. Sedangkan untuk analisis digunakan seperangkat alat FT-IR Shimadzu 8400, SEM, sonikator, dan pengukur sudut kontak.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah metanol p.a (*Merck*), TMCS 99% (*Merck*), heksana p.a (*Merck*), H_2SO_4 pekat (*Merck*) dan air suling.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan kegiatan, antara lain:

1. Preparasi substrat kaca
2. Preparasi larutan TMCS
3. Pelapisan hidrofobik
4. Penguapan pelarut
5. Pembuatan pola
6. Karakterisasi dan uji

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Substrat Kaca

Kaca preparat sebanyak enam buah dicuci dengan air sabun. Kemudian, kaca dibilas dengan air suling. Setelah itu diangkat dan disemprot dengan udara hingga kering. Kemudian, kaca preparat direndam dalam larutan metanol selama 30 menit. Kemudian dipanaskan dalam suhu $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama satu jam.

3.4.2 Preparasi larutan TMCS

Larutan TMCS divariasi 11%, 22%, 33%, 44%, dan 55%. Dibuat dengan mengencerkan TMCS 99% dengan n-heksana. Variasi

konsentrasi 11%, 22%, 33%, 44%, dan 55% masing-masing dibuat dari 5,6 mL; 11,1 mL; 16,7 mL; 22,2 mL; dan 27,8 mL TMCS 99% dimasukkan dalam labu ukur 50 mL. Kemudian ditambahkan heksana hingga tanda batas dan dikocok hingga homogen. Kemudian larutan dimasukkan dalam botol kaca dan diberi label.

3.4.3 Pelapisan Hidrofobik pada Kaca

Kaca preparat direndam dalam campuran n-heksana, larutan TMCS, dan metanol dengan perbandingan 1:1:1. Waktu kontak divariasi selama 0,5, 6, dan 12 jam dalam suhu tetap 50 °C. Kemudian diangkat dan dibilas dengan n-heksana. Kaca tersililasi kemudian dikeringkan pada temperatur 80 °C selama satu jam.

3.4.4 Pembuatan Pola

Pola dibuat dengan cara merendam sebagian kaca yang telah dibuat hidrofobik kedalam H₂SO₄ pekat selama 30 menit. Kemudian diangkat dan dibilas dengan air hangat. Disemprot dengan udara hingga tidak ada air yang menempel pada kaca. Dipanaskan dalam oven pada suhu 80 °C selama satu jam.

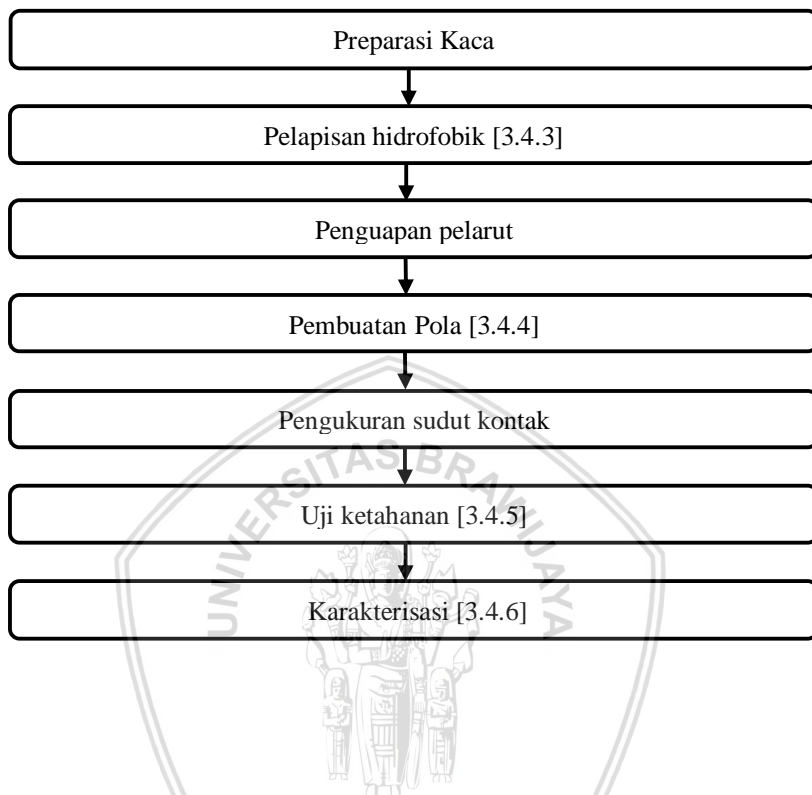
3.4.5 Uji Ketahanan

Uji ketahanan dilakukan untuk menguji ketahanan mekanik dan ketahanan panas. Uji ketahanan mekanik dilakukan dengan instrumen sonikator. Kaca dengan nilai sudut kontak terendah dipotong sebagian kecil kemudian disonikasi selama 30 menit. Sedangkan uji ketahanan panas dilakukan dalam tanur pada suhu 300 °C

3.4.6 Karakterisasi

Karakterisasi hasil penelitian dilakukan pengukuran sudut kontak, analisis menggunakan FTIR, dan analisis menggunakan SEM. Pengamatan sudut kontak dilakukan dengan meneteskan air pada permukaan kaca hidrofobik yang kemudian diambil gambarnya menggunakan kamera dan diukur sudut kontak air dengan aplikasi ContactAngleMeasurement. Karakterisasi *Fourier Transform Infra-red* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan yang terdapat pada kaca hidrofobik. Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk mengamati hasil lapisan hidrofobik optimum yang terbentuk pada kaca.

3.4 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Pola Lapisan Hidrofobik

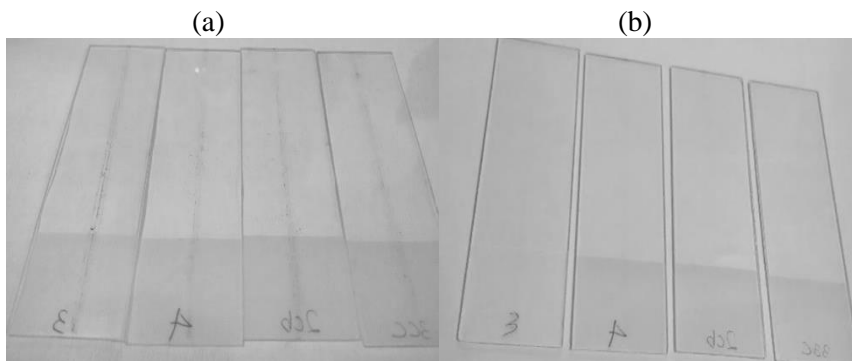
Kolom sebelah kiri pada Tabel 4.1 menunjukkan perlakuan konsentrasi larutan TMCS yang digunakan, baris paling atas merupakan variasi waktu kontak, dan bagian isi tabel merupakan kode sampel pembuatan lapisan hidrofobik.

Tabel 4.1: Keterangan Kode Sampel pada Gambar.

| Konsentrasi | <i>Waktu kontak (jam)</i> | | |
|---------------------|---------------------------|----------|-----------|
| Larutan TMCS | 0,5 | 6 | 12 |
| 11% ulangan 1 | 1a1 | 1b1 | 1c1 |
| 11% ulangan 2 | 1a2 | 1b2 | 1c2 |
| 22% ulangan 1 | 2a1 | 2b1 | 2c1 |
| 22% ulangan 2 | 2a2 | 2b2 | 2c2 |
| 33% ulangan 1 | 3a1 | 3b1 | 3c1 |
| 33% ulangan 2 | 3a2 | 3b2 | 3c2 |
| 44% ulangan 1 | 4a1 | 4b1 | 4c1 |
| 44% ulangan 2 | 4a2 | 4b2 | 4c2 |
| 55% ulangan 1 | 5a1 | 5b1 | 5c1 |
| 55% ulangan 2 | 5a2 | 5b2 | 5c2 |

Pelapisan hidrofobik dilakukan dengan dua metode, yang pertama yaitu melindungi bagian kaca terlebih dahulu sebelum dibuat hidrofobik. Sedangkan yang kedua yaitu dengan cara membuat hidrofobik seluruh bagian kaca kemudian dibuat hidrofilik sebagian kaca.

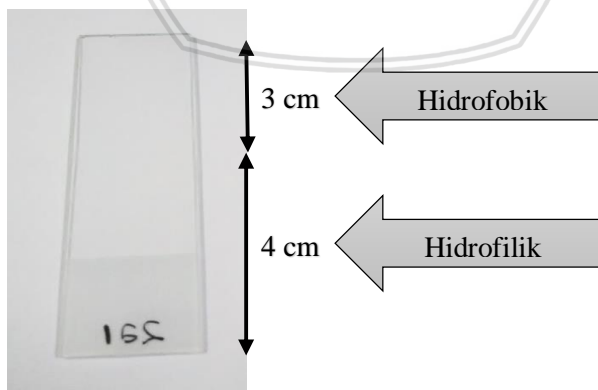
Pembuatan pola dengan cara melindungi bagian kaca dengan grafit pensil dilakukan. Grafit digunakan untuk melindungi bagian kaca yang ingin dibuat tetap hidrofilik. Grafit digunakan karena dapat menempel pada kaca dan tidak larut dalam pelarut n-heksana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa grafit tidak dapat melindungi bagian kaca dengan baik sehingga terbentuk kaca hidrofobik di seluruh bagian kaca (Gambar 4.1).



Gambar 4.1: Kaca dengan grafit sebagai pola sebelum direaksikan (a) Pola grafit tidak lagi menempel pada kaca setelah direaksikan dengan TMCS (b).

Setelah dilakukan perendaman, pola grafit tidak lagi terlihat menempel pada kaca. Diperkirakan ikatan yang terbentuk antara grafit dengan permukaan kaca adalah ikatan Van der Waals, sehingga ikatan tersebut mudah lepas saat direndam dalam n-heksana.

Pembuatan pola dengan cara sebagian kaca dibuat hidrofobik dan sebagian dibuat hidrofilik telah dilakukan. Pembuatan lapisan hidrofilik dilakukan dengan cara mereaksikan sebagian kaca dengan H_2SO_4 pekat. Mula-mula kaca preparat dibuat hidrofilik terlebih dahulu, kemudian sebagian kaca direndam dalam H_2SO_4 . Sehingga didapatkan kaca berpola hidrofobik dan hidrofilik seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Pola hidrofobik dan hidrofilik yang terbentuk pada sampel 2a1.

Setelah dilakukan perendaman, diperoleh kaca yang bening dan tidak terlihat perbedaan batas pola apabila diamati secara kasat mata. Apabila ditetesi dengan air, pada bagian kaca hidrofobik terlihat tetesan air lebih bulat. Pada bagian hidrofilik tetesan air cenderung melebar (Gambar 4.3). Hal ini terjadi karena gaya adhesi air pada kaca hidrofobik lebih tinggi dibanding gaya adhesi air pada kaca hidrofil. Pada permukaan kaca hidrofil, terbentuk permukaan kaca yang bersifat polar. Sifat polar terbentuk karena mengandung lebih banyak gugus hidroksil. Sedangkan permukaan kaca hidrofobik lebih bersifat non polar dengan adanya gugus siloksan dari senyawa TMCS.

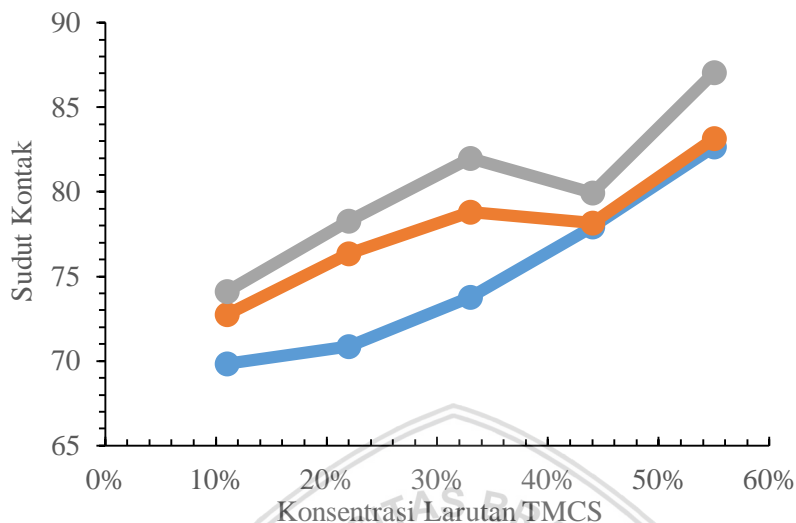


Gambar 4.3: Tetesan air pada kaca hidrofobik (A), tetesan air pada kaca hidrofilik (B) yang terbentuk pada sampel 2b2.

4.2 Pengukuran Sudut Kontak

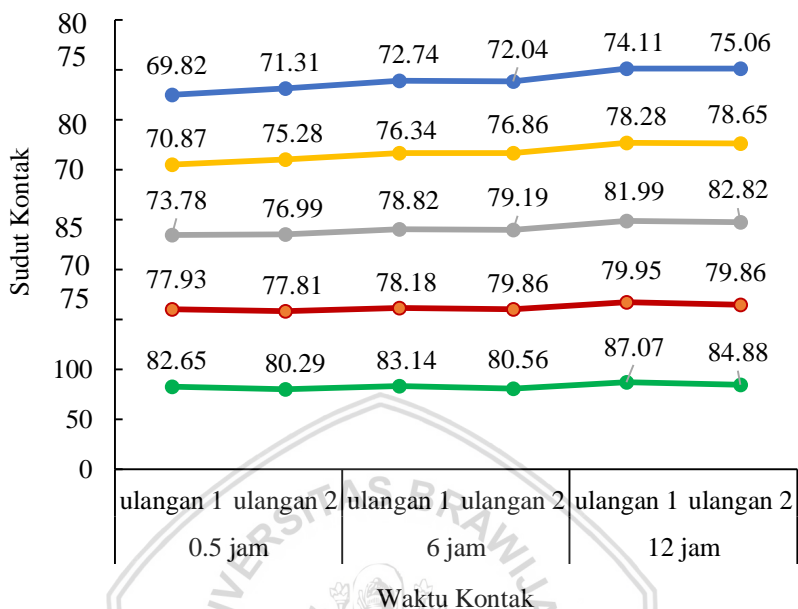
Tingkat hidrofobisitas kaca dapat diketahui dengan pengukuran sudut kontak. Semakin tinggi nilai sudut kontak mengindikasikan bahwa kaca semakin hidrofobik. Pengukuran dilakukan dengan meneteskan sebanyak 5 μ L air suling diatas kaca. Kemudian tetesan pada kaca difoto dan diukur sudut kontakanya.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengukuran sudut kontak pada variasi konsentrasi dan waktu kontak. Semakin tinggi konsentrasi TMCS dan semakin lama waktu perendaman menghasilkan peningkatan sudut kontak.



Gambar 4.4: Kurva hubungan sudut kontak dengan konsentrasi larutan TMCS pada variasi waktu kontak 12 jam —, 6 jam —, dan 0,5 jam —.

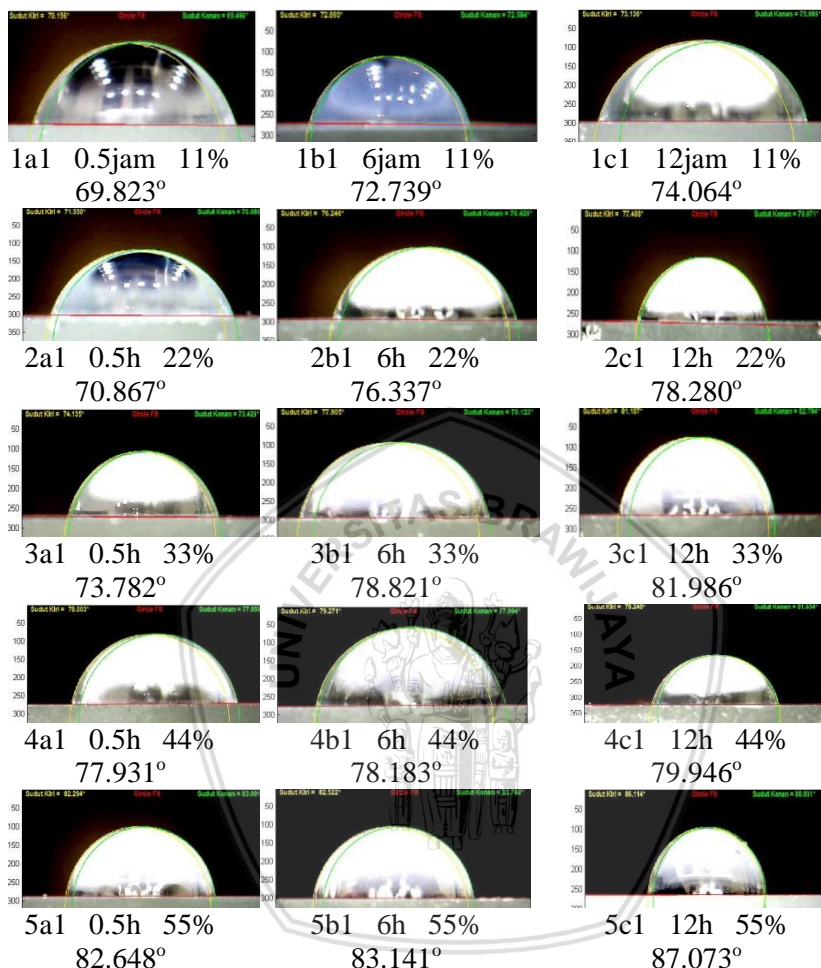
Nilai sudut kontak pada sampel 4c1 dan 4b1 tidak mengalami kenaikan. Diperoleh hasil nilai sudut kontak yang hampir sama dengan Nilai sudut kontak pada sampel 3c1 dan 3b1. Hal tersebut dapat terjadi diduga karena larutan yang digunakan pada saat penelitian telah terkontaminasi oleh metanol pada saat preparasi larutan sehingga kepolaran larutan TMCS 44% naik. Metanol bersifat semi polar sedangkan TMCS bersifat non polar sehingga pada saat perendaman, metanol yang ikut menempel pada permukaan kaca menyebabkan sudut kontak permukaan kaca lebih rendah dari yang seharusnya.



Gambar 4.5: Kurva perubahan nilai sudut kontak pada berbagai waktu kontak dari variasi konsentrasi larutan TMCS 11% —, 22% —, 33% —, 44% —, dan 55% —.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai sudut kontak bervariasi pada setiap pengulangan. Pengukuran sudut kontak pada bagian kaca yang berbeda menghasilkan nilai sudut kontak yang berbeda pula. Hal tersebut mengindikasikan bahwa persebaran lapisan hidrofobik tidak merata. Pengukuran sudut kontak pada waktu yang berbeda dengan tempat yang sama menghasilkan nilai sudut kontak yang berbeda pula. Hal tersebut mengindikasikan bahwa lapisan hidrofobik yang terbentuk kurang stabil.

Berdasarkan hasil uji F dan uji T menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudut kontak pada ulangan satu dan ulangan dua tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudah presisi.



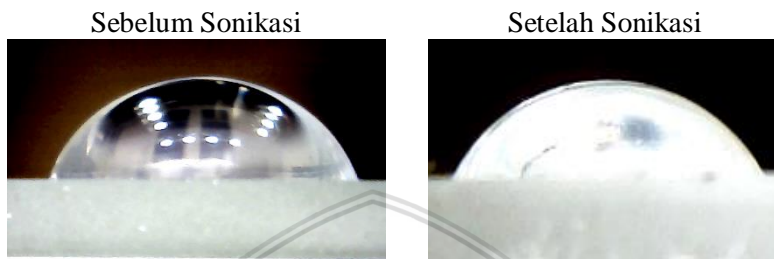
Gambar 4.6: Hasil sudut kontak pada kaca yang telah dibuat hidrofilik.

Nilai sudut kontak kaca dengan air pada semua kaca yang sudah diberi perlakuan dalam penelitian tidak melebihi 90° (Gambar 4.6). Hal ini menunjukkan bahwa kaca yang dibuat kurang atau belum bersifat hidrofobik. Gugus metil dari trimetilklorosilan menyebabkan permukaan kaca bersifat non polar sehingga nilai sudut kontak naik setelah diberi perlakuan.

4.3 Uji Ketahanan

4.3.1 Uji Ketahanan Mekanik

Kaca hidrofobik diuji dengan sonikator untuk mengetahui ketahanan lapisan hidrofobik terhadap getaran. Kaca yang diuji adalah sampel 1a1 dan disonikasi selama 30 menit.

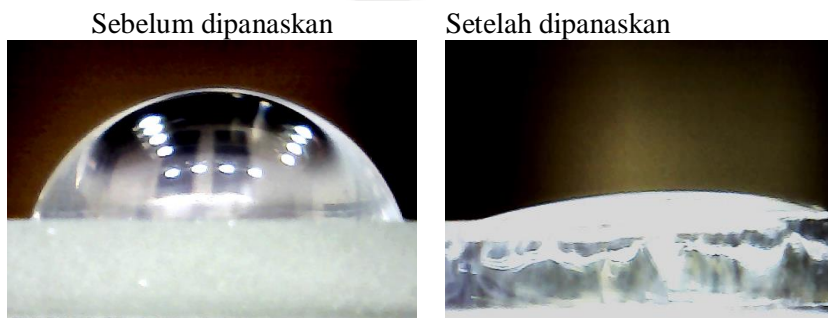


Gambar 4.7: Perbandingan tetesan air pada permukaan kaca sebelum dan sesudah sonikasi.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil tetesan air pada sampel 1a1. Sebelum dilakukan uji ketahanan mekanik, sudut kontak sampel 1a1 adalah $69,823^\circ$. Setelah disonikasi nilai sudut kontak adalah $65,210$. Tidak terjadi perubahan yang signifikan dari nilai sudut kontak sebelum dan sesudah sonikasi. Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan antara kaca dengan lapisan hidrofobik stabil.

4.3.2 Uji Ketahanan Panas

Kaca hidrofobik 1a1 diuji dengan cara dipanaskan dalam tanur pada suhu 300°C selama satu jam.

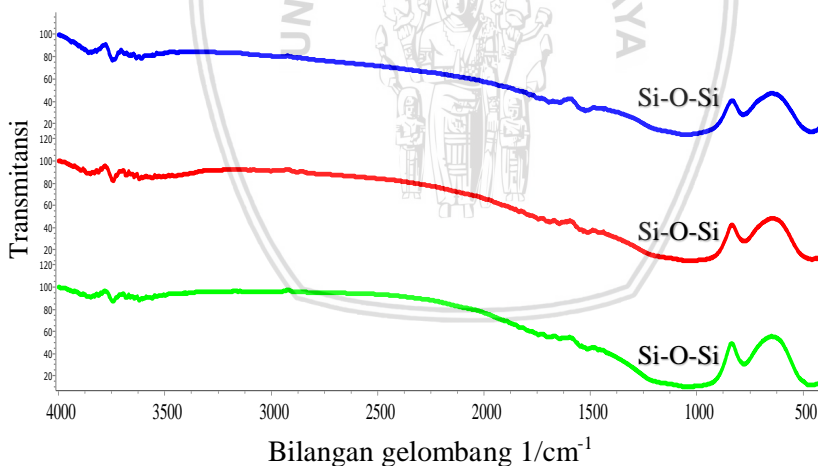


Gambar 4.8: Hasil uji ketahanan panas kaca hidrofobik 1a1.

Pemanasan suhu tinggi pada sampel menyebabkan kaca bersifat hidrofilik. Suhu tinggi menyebabkan ikatan lapisan hidrofobik dengan kaca rusak dan terputus, sehingga kaca tidak lagi mengandung TMCS dan menyebabkan kaca bersifat hidrofilik. Tetesan air pada Gambar 4.8 terlihat sangat berbeda. Tetesan air pada sampel 1a1 bagian hidrofobik terlihat seperti setengah lingkaran, sedangkan setelah dilakukan pemanasan suhu tinggi tetesan air melebar dan hampir rata dengan kaca.

4.4 Karakterisasi Menggunakan FTIR

Sampel dianalisis dengan menggunakan spektrometer FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada permukaan kaca. Pembuatan lapisan hidrofobik dikatakan berhasil apabila terdapat gugus CH_3 , Si-O , dan Si-C pada hasil analisis permukaan kaca. Karakterisasi dilakukan pada kaca tanpa perlakuan setelah preparasi, sampel 1a1, dan sampel 5a1. Sampel 1a1 dianalisis untuk mengetahui keberhasilan pembuatan lapisan hidrofobik dengan konsentrasi terendah dan waktu kontak minimal.



Gambar 4.9: Perbandingan spektra IR kaca preparasi tanpa perlakuan —, sampel 1a1 —, sampel 5a1 —.

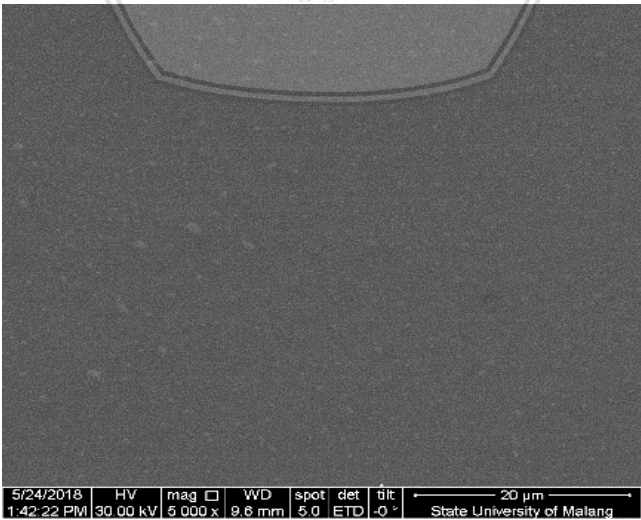
Vibrasi ulur asimetris ikatan Si-O-Si pada bilangan gelombang $1049,97 \text{ cm}^{-1}$ terlihat pada kaca preparasi tanpa perlakuan, $1042,25 \text{ cm}^{-1}$ pada sampel 1a1, dan $1044,18 \text{ cm}^{-1}$ pada sampel 5a1. Terlihat pula vibrasi tekuk ikatan Si-O-Si pada bilangan gelombang

459,79 cm^{-1} , 457,86 cm^{-1} , dan 469,43 cm^{-1} dari ketiga sampel. Vibrasi ulur simetris ikatan Si-O-Si muncul pada bilangan gelombang 781,88 cm^{-1} , 774,16 cm^{-1} , 778,02 cm^{-1} dari masing-masing sampel. Vibrasi ikatan Si-C dan C-H yang menunjukkan terjadinya sililasi pada permukaan kaca tidak terlihat. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari ketiga spektra pada Gambar 4.9, sehingga diduga bahwa spektrofotometer FTIR tidak sensitif untuk menganalisis sililasi yang terlalu sedikit. Tabel 4.2 menunjukkan jenis vibrasi dari masing-masing bilangan gelombang.

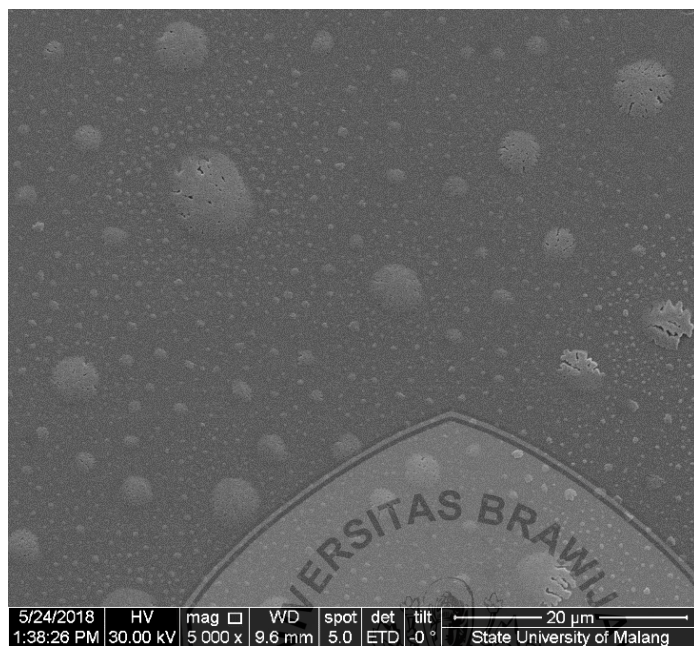
Tabel 4.2: Interpretasi jenis vibrasi hasil FTIR

| Bilangan gelombang cm^{-1} | | | Interpretasi |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Kaca Preparasi | Kaca TMCS 11% 0.5 jam | Kaca TMCS 55% 0.5 jam | |
| 1049,97 | 1042,25 | 1044,18 | Si-O-Si ulur asimetris |
| 781,88 | 774,16 | 778,02 | Si-O-Si ulur simetris |
| 459,79 | 457,86 | 469,43 | Si-O-Si tekuk |

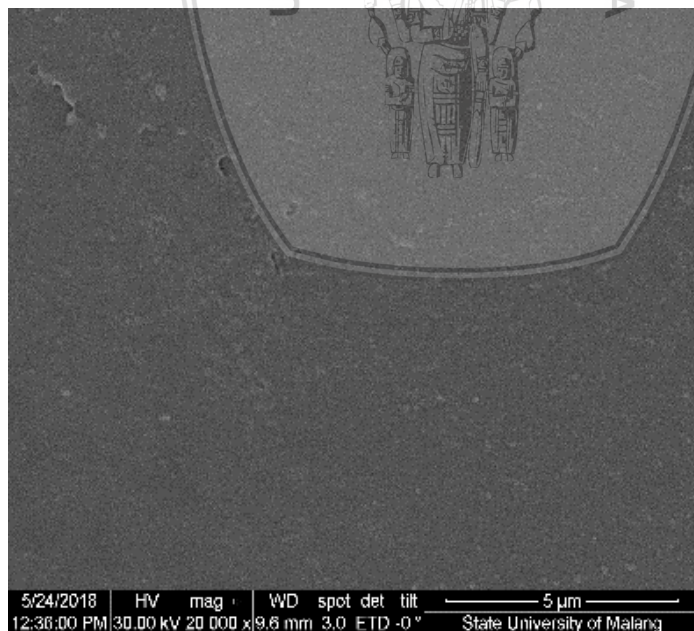
4.5 Karakterisasi Lapisan Hidrofobik Menggunakan SEM



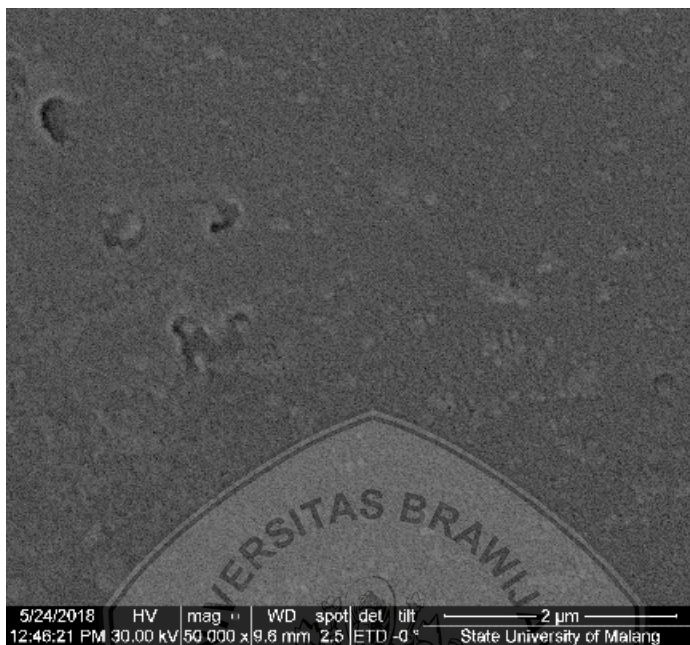
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.10: Hasil pengamatan SEM permukaan kaca bagian hidrofilik perbesaran 5000 kali (a) hidrofobik 5000 kali (b) hidrofilik 20.000 kali (c) dan hidrofilik 50.000 kali (d) pada sampel 5c1.

Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan kaca yang telah diberi perlakuan agar menjadi hidrofobik dan hidrofilik. Permukaan kaca hidrofobik menunjukkan morfologi yang kasar jika dibandingkan dengan morfologi permukaan kaca hidrofilik [23]. Hasil analisis menggunakan SEM (Gambar 4.10) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada berbagai perbesaran. Gambar 4.10 (b) menunjukkan morfologi permukaan kaca hidrofobik dengan adanya bulatan-bulatan mirip gelembung yang diduga merupakan bagian yang bereaksi dengan TMCS.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Lapisan hidrofobik dapat dibuat dengan merendam kaca preparat kedalam larutan TMCS dan pola hidrofilik dapat dibuat dengan merendam sebagian kaca kedalam H_2SO_4 pekat.
2. Belum diketahui konsentrasi larutan TMCS serta waktu kontak yang optimum untuk membuat lapisan hidrofobik pada kaca, tetapi didapatkan nilai sudut kontak tertinggi pada konsentrasi larutan TMCS 55% pada waktu kontak 12 jam.
3. Lapisan hidrofobik yang terbentuk tahan terhadap getaran namun tidak tahan terhadap panas suhu tinggi.
4. Instrumen FTIR kurang teliti apabila digunakan untuk menganalisis gugus fungsi lapisan hidrofobik pada kaca.
5. Perbedaan permukaan kaca hidrofobik dan hidrofilik tidak terlihat saat dianalisis menggunakan SEM.
6. Permukaan kaca yang rata terlihat pada permukaan hidrofilik yang diamati menggunakan SEM pada berbagai perbesaran.

5.2 Saran

Pelapisan hidrofobik yang terbentuk kurang merata dan kurang stabil sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab TMCS tidak dapat melapisi kaca dengan baik. Diharapkan pada penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan labu ukur berbahan teflon agar TMCS tidak bereaksi dengan wadah saat pengenceran.
2. Menambah konsentrasi larutan TMCS yang digunakan untuk pelapisan hidrofobik sehingga diketahui hasil optimum.
3. Menambah waktu kontak agar diketahui waktu kontak yang optimum menghasilkan kaca hidrofobik.
4. Menggunakan agen silan lain selain TMCS untuk membuat lapisan hidrofobik pada kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pulker, H., H. K. Pulker, 1999, **Coatings on Glass, 2 edition**, Elsevier Scienc.
- [2] Pravita, A. dan D. Dahlan, 2013, **Sintesis Lapisan TiO₂ menggunakan Prekursor TiCl₄ untuk Aplikasi Kaca Self Cleaning dan Anti Fogging**, J. Fis. Unand, vol. 2, no. 2.
- [3] Ragesh, P. V., Anand Ganesh, S. V. Nair, dan A. S. Nair, 2014, **A Review on 'Self-Cleaning and Multifunctional Materials'**, J Mater Chem A, vol. 2, no. 36, hlm. 14773–14797.
- [4] Arkles, Barry, 2011, **Hydrophobicity and Silane Surface Modification, 2nd edition**, Gelest, Inc.
- [5] Widati, A. A., N. Nuryono, I. Kartini, dan N. D. Martino, 2017, **Silica-Methyltrimethoxysilane Based Hydrophobic Coating on A Glass Substrate**, J. Chem. Technol. Metall., vol. 52, no. 6, hlm. 1123–1128.
- [6] Zulfikar, M. A., R. T. Tjahjanto, dan D. Darjito, 2014, **Pengaruh pH dan Konsentrasi TMCS Pada Sintesis Aerogel Silika dari Water Glass**, J. Ilmu Kim. Univ. Brawijaya, vol. 1, no. 1, hlm. pp–78.
- [7] Setyawan, H., V. Samsiadi, dan Ambarwati, 2010, **Hydrophobic Glass Coated with Surface Modified Silica Film Prepared From Sodium Silicate**, ISFACH E.
- [8] Rosmawati, A., R. T. Tjahjanto, dan Y. P. Prananto, 2013, **Variasi Prosedur Preparasi Gel pada Sintesis Aerogel Silika dari Lumpur Lapindo**, J. Ilmu Kim. Univ. Brawijaya, vol. 1, no. 2, hlm. pp–161.
- [9] Latthe, S. S., H. Hirashima, dan A. V. Rao, 2009, **TEOS Based Water Repellent Silica Films Obtained by a Co-Precursor Sol-Gel Method**, vol. 18, no. 9.

- [10] Gurav, J. L., I.-K. Jung, H.-H. Park, E. S. Kang, dan D. Y. Nadargi, 2010, **Silica Aerogel: Synthesis and Applications**, J. Nanomater., vol. 2010, hlm. 1–11.
- [11] Bhattacharyya, R., 2013, **Technological Applications of Superhydrophobic Coatings: Needs and Challenges**, Nov. Int. J. Anal. Innov., vol. 2, no. 4.
- [12] Fraser, H., 1998, **Glazes for The Craft Potter**, London; Westerville: A. & C. Black, The American Ceramic Society.
- [13] Vlček, Jozef, 2015, **Glass and Ceramic Materials, First**, Ostrava: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ.
- [14] Maria, S. B., G. M. Marcos, S. A. Querol, R. Serge, dan D. S. Luis, 2013, **Manufacture of Glass**, JRC Ref. Rep.
- [15] Pilotek, S. dan H. Schmidt, 2004, **Hydrophobic and Oleophobic Coatings**, dalam Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users, Springer, hlm. 179–186.
- [16] Licciulli, A. dan D. Lisi, 2002, **Self Cleaning Glass**, Univ. Degli Studio Lecce.
- [17] Kanegsberg, B. dan Edward Kanegsberg, 2000, **Handbook For Critical Cleaning**, 1st Edition. Boca Raton: CRC Press.
- [18] Mahadik, S. A., M. S. Kavale, S. K. Mukherjee, dan A. V. Rao, 2010, **Transparent Superhydrophobic silica coatings on glass by sol-gel method**, Appl. Surf. Sci., vol. 257, no. 2, hlm. 333–339.
- [19] Sudradjat, A. dan A. P. Bayuseno, 2013, **Analisis Korosi dan Kerak Pipa Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler**, J. Tek. MESIN, vol. 1, no. 4, hlm. 40–45.
- [20] Seker, E., M. Reed, dan M. Begley, 2009, **Nanoporous Gold: Fabrication, Characterization, and Applications**, Materials, vol. 2, no. 4, hlm. 2188–2215.

- [21] Rouessac, F. dan A. Rouessac, 2007, **Chemical Analysis: Modern Instrumentation Methods and Techniques**, 2nd ed. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley.
- [22] Skoog, Douglas A. Donald M. West, F. James Holler, dan Stanley R. Crouch, 2014, **Fundamentals of Analytical Chemistry**, Ninth Edition. Mary Finch.
- [23] Zhang, Y. B. Dong, S. Wang, L. Zhao, L. Wan, dan E. Wang, 2017, **Mechanically Robust, Thermally Stable, Highly Transparent Superhydrophobic Coating with Low-Temperature Sol-Gel Process**, RSC Adv, vol. 7, no. 75, hlm. 47357–47365.

